

Robert Bédoret : [robibedo@yahoo.fr](mailto:robibedo@yahoo.fr)Isabelle Bricaud : [i.bricaud@yahoo.fr](mailto:i.bricaud@yahoo.fr)Benoît Malet : [maletbenoit@yahoo.fr](mailto:maletbenoit@yahoo.fr)Pascal Olive : [psi1montaigne@gmail.com](mailto:psi1montaigne@gmail.com)Pierre Salles : [lycee.salles@laposte.net](mailto:lycee.salles@laposte.net)François Lelong : [psi2phch@gmail.com](mailto:psi2phch@gmail.com)Valérie Hoornaert : [vhoornaert@gmail.com](mailto:vhoornaert@gmail.com)Jérôme Fanjeaux : [jerome.fanjeaux@free.fr](mailto:jerome.fanjeaux@free.fr)**PSI2. PHYSIQUE. Semaine de colle 13, du lundi 6 au vendredi 10 janvier 2025.****Théorème d'Ampère.****Passage à l'électrodynamique**

Dans le cas statique,

MA s'écrit :  $\text{rot}(\vec{B}) = \mu_0 \vec{j}$  qui donne  $\oint_{\text{contour}} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \iint_{\text{surface}} \vec{j} \cdot \vec{n} dS = \mu_0 I_{\text{enlacé}}$ 

En dynamique, il faut tenir compte du courant de déplacement :

MA s'écrit :  $\text{rot}(\vec{B}) = \mu_0 (\vec{j} + \vec{j}_d)$  qui donne  $\oint_{\text{contour}} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \iint_{\text{surface}} (\vec{j} + \vec{j}_d) \cdot \vec{n} dS$ 

Voir exercice sur le condensateur en régime variable.

En-dehors des distributions de charges et courants, le champ électromagnétique est une onde.

Utilisation des relations de Maxwell pour obtenir un champ magnétique à partir d'un champ électrique fourni ou l'inverse.

**Aspect énergétique.**Densité d'énergie électromagnétique  $u_{em} = u_e + u_m = \epsilon_0 \frac{E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0}$  en  $J.m^{-3}$ .Vecteur de Poynting  $\vec{\Pi} = \vec{E} \wedge \frac{\vec{B}}{\mu_0}$  en  $W.m^{-2}$ . Donne la direction et le sens de la propagation de l'énergie.L'équation de conservation de l'énergie est :  $\text{div}(\vec{\Pi}) + \vec{j} \cdot \vec{E} + \frac{\partial u_{em}}{\partial t} = 0$ .Prop : la puissance traversant une surface  $S$  orientée est égale au flux du vecteur de Poynting à travers cette surface.On peut obtenir l'autoinductance  $L$  d'une bobine de  $N$  spires, de longueur  $\ell$ , de section droite  $S$  :

$$L \approx \frac{\mu_0 SN^2}{\ell}$$

**ARQS magnétique ou électrique.****Ondes électromagnétiques dans le vide. UNIQUEMENT DANS LE VIDE.****Si réflexion sur métal parfait, indiquer les propriétés**

En l'absence de charges et de courants, le champ électromagnétique obéit à l'équation de d'Alembert suivantes :

$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{0} \quad \Delta \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = \vec{0}$$

Si on cherche une OPP selon les z croissants, les équations de Maxwell permettent de montrer que:

a) Les champs électrique et magnétique sont transverses et orthogonaux entre eux.

b)  $E=cB$ c) Le trièdre  $(\vec{e}_z, \vec{E}, \vec{B})$  forme un trièdre orthogonal directd) Le vecteur de Poynting  $\vec{\Pi}$  est selon Oz donc il y a transfert d'énergie selon les z croissantse)  $u_{em}=2u_e=2u_m$  et  $\vec{\Pi}=u_{em} \vec{c}$ , ce qui montre que l'énergie se propage à la vitesse  $c$ .La forme générale d'une OPPH est en  $\cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM})$ , où  $\vec{k}$  est le vecteur d'onde et sa norme  $k = \frac{\omega}{c}$  est le nombre d'onde. $\lambda = \frac{2\pi}{k}$  est la périodicité spatiale ou longueur d'onde.  $\vec{k}$  indique la direction et le sens de la propagation de l'onde.

Si on adopte la notation complexe, le champ électromagnétique peut s'écrire :

$$\vec{E}(M, t) = \vec{E}_0 \cdot \exp[j(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM})] \quad \vec{B}(M, t) = \vec{B}_0 \cdot \exp[j(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM})]$$

$$\vec{E}_0 \cdot \vec{k} = 0 \quad \vec{B}_0 \cdot \vec{k} = 0 \quad \vec{E}_0 \cdot \vec{B}_0 = 0$$

Avec une telle écriture, la dérivation temporelle devient une multiplication par  $j\omega$  et le vecteur  $\vec{v}$  devient  $-j\vec{k}$ . Les relations de Maxwell permettent alors de retrouver les propriétés précédentes et en plus la relation générale:  $\vec{B} = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega}$  à connaître.**REMARQUE** : il existe d'autres solutions que l'OPPH. **Vérifier que l'onde proposée est bien une OPPH avant d'utiliser les propriétés ci-dessus.** Se méfier aussi avant d'écrire  $k = \frac{\omega}{c}$  valable uniquement pour une OPPH dans le vide.

Utilisation des relations de Maxwell pour obtenir toute la structure électromagnétique à partir de la donnée du champ électrique (ou magnétique).

**Pour les calculs énergétiques sur  $u_{em}$  ou  $\vec{\Pi}$** , le passage en réel est **OBLIGATOIRE** avant tout calcul.